

文章编号: 1005-0523(2001) 02-0059-04

无缝线路稳定公式的推导及影响因素分析

张 钧

(南昌铁路干部学校 工程教研室, 江西 南昌 330002)

摘要: 利用虚位移原理推导了无缝线路稳定的公式, 计算了各种参数的变化对无缝线路稳定的影响, 提出了在线路养护工作中保证稳定的一些重要原则¹⁹.

关 键 词: 无缝线路; 虚位移原理; 轨道刚度

中图分类号: O322 ; TP301

文献标识码: A

0 引 言

无缝线路在温度力作用下会失去稳定, 研究表明: 失稳的过程分胀轨和跑道两个阶段, 胀轨属于弹性变形阶段, 在温度力消失以后, 线路会恢复到原来状态, 跑道指温度力达到一定程度后, 线路在微小扰动下发生剧烈变形而失去稳定¹⁹. 无缝线路稳定公式的推导以胀轨达到一定的横向变形为钢轨允许温升的计算依据¹⁹.

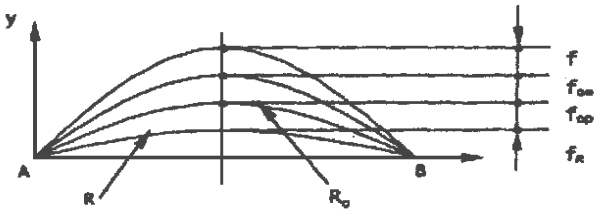


图 1

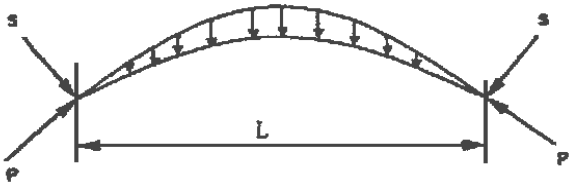


图 2

1 基本假设

1.1 假设道床为均匀介质, 轨道框架为铺于均匀介质中的梁, 用梁的水平面内的刚度代表轨道框架的水平面内刚度(见图 2)

1.2 假设在温度力作用下, 梁的变形曲线为正弦曲线(见图 1), 其方程为:

$$V_f = f \sin(\pi x / l) \quad (1-1)$$

式中: f —— 变形曲线的中点矢度(mm); l —— 变形曲线的长度(mm); V_f —— 轨道横向位移量(mm)

1.3 假设轨道的初始不平顺, 由弹性初弯和塑性初弯组成, 弹性初弯的线形为半波正弦曲线, (见图 1) 其方程为:

$$V_{oe} = f_{oe} \sin(\pi x / l) \quad (1-2)$$

式中: f_{oe} —— 弹性初弯矢度(mm)

塑性初弯的线形为圆曲线, 其近似公式为:

$$V_{op} = (l_0 - x)x / 2R_0 \quad (1-3)$$

式中: l_0 —— 塑性初弯半波长度(mm);

R_0 —— 塑性初弯的曲率半径(mm)

收稿日期: 2001-01-27; 修订日期: 2001-02-20

作者简介: 张钧, 1973-11-18, 男, 江西上饶人, 南昌铁路干部学校讲师¹⁹.

中国知网 <https://www.cnki.net>

1.4 轨道处在半径为 R 的圆曲线上时, 圆曲线的线型用下式表示:

$$V_R = (L - x)x / (2R) \quad (1-4)$$

同塑性初弯合成曲率为:

$$1/R' = 1/R + 1/R_0 \quad (1-5)$$

1.5 假定初弯中点曲率为常数

$$\pi f_{oe}/l_0^2 = \text{常数} \quad (1-6)$$

$$1/R_0 = 8f_{op}/l_0^2 = \text{常数} \quad (1-7)$$

2 公式推导

2.1 虚位移原理

处于平衡状态下的受力体系, 所有的外力和内力, 对任意极限小的虚位移所作的功等于零¹⁹。当钢轨温度增加时, 轨道的总形变能增加到 A , A 由钢轨压缩形变能 A_1 、轨道框架弯曲形变能 A_2 和道床形变能 A_3 组成, 既: $A = A_1 + A_2 + A_3$ ⁽¹³⁾。根据势能驻值原理, 对总形变能取驻值, 将形变能对状态函数取偏导数, 令偏导数为零, 所以:

$$\frac{\partial A}{\partial f} = \frac{\partial A_1}{\partial f} - \frac{\partial A_2}{\partial f} - \frac{\partial A_3}{\partial f} = 0 \quad (2-1)$$

$$dp/dl = 0 \quad (2-2)$$

2.2 压缩形变能 A_1

钢轨在温度压力 p 的作用下, 线路产生弯曲变形, 设轨道变形以后产生的长度变化 Δl (变形后弧弦差减变形前弧弦差)

$$A_1 = p \cdot \Delta l = p \left\{ \frac{\pi}{4l} (f^2 + 2ff_{oe}) + \frac{2lf}{\pi R} \right\} \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial A_1}{\partial f} = \frac{p}{2} \left\{ \frac{\pi}{l} (f + f_{oe}) + \frac{2l}{\pi R} \right\} \quad (2-4)$$

2.3 轨道框架弯曲形变能 A_2

轨道框架弯曲形变能, 由两部分组成, 其一是轨道弹性初弯内力矩 M_{oe} 对轨道弯曲变形转角所作的功, 另一是轨道在温度压力作用下, 轨道弯曲变形内力矩 M_f 对轨道弯曲变形转角所作的功:

$$A_2 = \frac{1}{2} \int_0^l M_f d\theta + \int_0^l M_{oe} d\theta = \frac{EI\pi}{2l^3} \left(\frac{f^2}{2} + ff_{oe} \right) \quad (2-5)$$

$$\frac{\partial A_2}{\partial f} = \frac{EI\pi}{2l^3} (f + f_{oe}) \quad (2-6)$$

式中: EI —— 轨道刚度

2.4 床形变能 A_3

道床抵抗轨道框架弯曲的变形功

$$A_3 = \int_0^l \int_0^f q dV_f \cdot dx \quad (2-7)$$

$$\frac{\partial A_3}{\partial f} = \left[\frac{2}{\pi} q^0 - \frac{c_1}{2} f + c_n c_2 f^n \right] l \quad (2-8)$$

式中: q —— 单位道床阻力 (N/m); q^0, c_1, c_n, c_2 —— 常数

2.5 将 A_1, A_2, A_3 代入 (2-1) 和 (2-2) 式, 解 P 和 L :

$$\text{温度力 } p = (EI\pi(f + f_{oe})/l^2 + 4l^2 Q/\pi) / (f + f_{oe} + 4l^2/\pi R) \quad (2-9)$$

$$\text{波长 } l^2 = (EI\pi/R + ((EI\pi/R)^2 + EI\pi(f + f_{oe})Q/4)^{1/2}) \quad (2-10)$$

$$\text{允许温升: } [\Delta T] = p/2\alpha E F k \quad (2-11)$$

式中: Q —— 等效道床阻力 (N/M); k —— 安全系数; $\alpha E, F$ —— 钢轨膨胀系数, 弹模和钢轨段面积

2.6 无缝线路允许温升的计算

无缝线路允许温升和相应的临界波长的计算较为烦琐, 先要假定一个临界波长 l 和相应的变形矢度 f_{oe} , 然后将矢度代入公式 (2-10) 求出波长, 和假设的波长进行比较, 如果相差太大, 则按照原始变形曲线曲率相

等条件将波长代入(1-6)式重新计算变形矢度和波长,直到计算波长和假设波长相等,最后再计算轨道的温度力和允许温升¹⁹为了进行无缝线路稳定的分析,本人编制了相应的计算机程序(程序略)¹⁹按照公式的假设和推导过程的原理,允许温升值是对应轨道弹性变形阶段一定的横向变形的温升,考虑安全和无缝线路的应用,横向变形一般取 2mm,考虑轨道的稳定变形曲线和计算中采用的安全系数说明:达到允许温升值并不意味着轨道就失去稳定,按照公式计算的轨道允许温升具备一定的安全储备¹⁹.

2.7 算 例

1) 线路条件:一级线路,60kg/m 钢轨,混凝土轨枕,1760 根/km,最小曲线半径 R=600 m,道床肩宽 45 cm,并堆高 15 cm

2) 计算的有关参数:

原始塑性弯曲矢度, $f_{op}=2\text{ mm}$ (波长 4 000 mm)

原始弹性弯曲矢度, $f_{oe}=2\text{ mm}$ (波长 4 000 mm)

允许轨道横向变形矢度, $f=2\text{ mm}$,一根钢轨对垂直轴的惯性矩 $I=524\text{ mm}^4$

轨道框架刚度的换算系数 2(不计扣件作用的节点阻矩)

等效道床横向阻力 $Q=6.68\text{ N/m}$ (按混凝土轨枕轨排在列车作用下浮起的道床阻力值考虑),安全系数 $K=1.25$

3) 计算结果,允许温升 39.5°C ,波长 4 764 mm

3 稳定分析

为分析轨道稳定和轨道参数的关系,笔者在算例的基础上,通过改变钢轨类型,曲线半径,道床横向阻力,轨道原始弯曲矢度和轨道框架刚度等参数的设置,利用计算机程序计算允许温升和相应的临界波长¹⁹.

3.1 轨道类型的影响

表 1 轨道类型改变的计算结果

轨型(kg/m)	惯性矩 mm ⁴	钢轨断面积 mm ²	允许温升(°C)	临界波长(mm)
50	377	6 580	45.0	4 108
60	524	7 745	39.5	4 764

分析:在轨型由 50 型变到 60 型的情况下,在不考虑轨型加大后线路的横向阻力得到提高,轨道框架刚度系数加大及线路平顺度加大的情况下,保持其他参数不变,改变钢轨的惯性矩和断面积,通过计算表明:采用重型轨道结构,虽然轨道刚度加大了,但相应的温度也增大,允许温升不但没有增加反而减小,可见轨道重型化并不能完全解决轨道的失稳问题¹⁹.

3.2 路曲线半径的影响

表 2 曲线半径改变的计算结果

半径(m)	600	700	800	900	1 000	1 200	10 000(直线)
波长(mm)	4 764	4 615	4 501	4 406	4 334	4 270	3 737
允许温升(°C)	39.5	42.1	44.3	46.2	47.8	49.1	64.2

分析:随作半径的增大,允许温升增大,线路更趋向稳定;表明直线较曲线更稳定,曲线特别是半径较小的曲线仍是线路稳定的薄弱环节,应足够重视曲线特别是小半径的稳定问题¹⁹由计算结果可以看出随着允许温升的增大,波长在不断减小¹⁹.

3.3 道床横向阻力的影响

表 3 道床阻力改变的计算结果

道床阻力(N/m)	6.68	7	8	9	10
允许温升(°C)	39.5	41.2	46.6	51.7	56.7

现场分析:随着道床道床阻力增大,允许温升也有较大幅度的增加,说明道床阻力可以有效地保证无缝线路稳定¹⁹采取道床路看堆高的办法可以有效地提高道床横向阻力,对保持线路稳定非常有利的¹⁹线路在大中修以后,由于扰动了稳定的道床结构,道床阻力显著下降对线路稳定不利,因此线路维修是以后要特别注

意采取保持线路稳定的措施,

3.4 弹性原始弯曲矢度和塑性原始弯曲矢度的影响

表 4 弹性弯曲矢度改变的计算结果

弹性弯曲矢度(mm)	1	2	3	4
允许温升(℃)	42.2	39.5	37.2	35.1

表 5 塑性弯曲矢度改变的计算结果

塑性弯曲矢度(mm)	1	2	3	4
允许温升(℃)	45.5	39.5	34.5	31.2

分析:随着线路的原始弹性和塑性弯曲矢度的增大,允许温升降低,特别是随着塑性矢度的增大降低,允许温升显著降低¹⁹弹性和塑性矢度和线路的养护状态有关,线路的残余变形积累可以看着原始弯曲矢度的增加,若轨道几何状态不良就会降低允许温升,增大了失稳的可能¹⁹.

3.5 轨道框架刚度系数的影响

表 6 轨道框架刚度改变的计算结果

框架系数	2.0	2.2	2.4	2.6	3.0
允许温升(℃)	39.5	39.9	40.1	40.4	40.8

分析:轨道的框架刚度和允许温升成正比,但从计算结果来看轨道刚度系数的增加对允许温升的影响并不显著¹⁹.

4 结束语

- 4.1 与轨道稳定性有关的主要因素是允许温升,等效道床横向阻力,轨道刚度,线路的弯曲矢度,圆曲线半径等,它们之间有密切的关系,某一因素超出范围或不符合标准,线路就会有丧失稳定的可能¹⁹.
- 4.2 涨轨跑道事故有时发生在轨温较低的情况下,即小于设计允许轨温,所以轨道失稳很大程度和线路状态及管理有关,特别是各种因素造成的锁定轨温降低很难从表象中得到观测,应足够重视¹⁹.
- 4.3 从涨轨跑道的事故统计得知,大多数发生在维修作业中间或以后,因此有必要进行作业对稳定影响的评估¹⁹.
- 4.4 涨轨跑道是有预兆的,在发生事故之前,轨道必先有明显的弯曲,在日常养护中要注意轨道的变化,发现有失稳的迹象要及时采取措施处理¹⁹.

参考文献:

[1] 铁道部工务局.铁路工务手册—轨道[M].北京:中国铁道出版社.1994.
[2] 广钟岩,张泽洼,高慧安,陈岳源.铁路无缝线路[M].北京:中国铁道出版社.1989.
[3] 许实儒.能量变分原理在无缝线路稳定计算中的应用[M].北京:中国铁道出版社.1985.

The deduction of Formulation of Jointless-track's Stability
and Its Analyses of relative factors

ZHANG Jun

(Nanchang railway cadre school,nanchang,330002,china)

Abstract:This article deduces the calculation formulation of jointless-track's stability using the theorem of bogus-locomotion, and calculates the influences of the changes of various parameters on jointless-track's stability and suggests some important principles of keeping jointless-track's stability in the process of maintaining jointless-track.

中国知网 <https://www.cnki.net>
Keyword:jointless-track;the theorem of bogus-locomotion;trainroad rigidity